

# Aspecte privind izolarea seismică a bazei

Aspects regarding the seismic base isolation

Zainulabdeen K. Abdulfattah Abdulfattah<sup>1</sup>, Vlad Stefan Niculae<sup>1</sup>,  
Daniel Stoica<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universitatea Tehnică de Construcții București, România  
B-dul Lacul Tei 122-124, Sector 2, București  
E-mail: stoica@utcb.ro

DOI:10.37789/rjce.2020.11.2.1

**Rezumat.** Pentru prezentul studiu s-a dorit analizarea a nouă modele de structuri, diferența între ele fiind forma și regimul de înălțime. Modelarea structurilor s-a efectuat cu ajutorul programului ETABS realizându-se o serie de studii pentru clădiri cu structura din b.a. (cadre respectiv duale) – clădiri cu formă pătrată în plan (cu 3 regimuri de înălțime: S+P+14, S+P+9, S+P+4), clădire formă dreptunghiulară în plan (cu 3 regimuri de înălțime: S+P+14, S+P+9, S+P+4), clădire formă rotundă în plan (cu 3 regimuri de înălțime: S+P+14, S+P+9, S+P+4), încadrarea suprastructurii considerându-se la cota planșeului peste subsolul I. De asemenea s-au realizat modele de calcul cu aceleași tipuri de clădiri, luând în considerare modelarea clasică a interacțiunii teren-structură precum și modele de calcul cu aceleași tipuri de clădiri, luând în considerare izolarea bazei, cu două tipuri de izolatori seismici de bază (LRB și HDRB). S-au realizat comparații între toate modelele de calcul structural utilizate.

**Cuvinte cheie:** structuri, seism, izolatori, bază, amortizare

## Abstract.

For the present study it was desired to analyze nine models of structures, the difference between them being the height and the height regime. Structural modeling was carried out with the help of the ETABS program, carrying out a series of studies for buildings with a structure from b.a. (respectively double frames) - buildings with square shape in plan (with 3 height regimes: B+15, B+10, B+5), rectangular shaped building in plan (with 3 height regimes: B+15, B+10, B+5), round shaped plan building (with 3 height regimes: with 3 height regimes: B+15, B+10, B+5), the embedding of the superstructure considering at the level of the floor above the basement I. Also, models of calculation with the same types of buildings were made, taking into account the classical modeling of the land-structure interaction as well as models of calculation with the same types of buildings, taking into account consideration of base isolation, with two types of basic seismic isolators (LRB and HDRB). Comparisons were made between all the structural calculation models used.

**Key words:** structures, earthquake, isolator, base, damping

## 1. Introducere

Proiectarea tradițională se bazează în principal pe creșterea capacității proporțional cu cerința și creșterea ductilității. Structurile sunt proiectate după principiul "Stâlpi puternici grinzi slabe" astfel încât să se dezvolte un mecanism optim de plastificare. Un nivel acceptabil de performanța al cladirii, în timpul unei mișcări seismice, constă în capacitatea intrinsecă a structurii de rezistență de a absorbi și disipa energie într-o manieră cât mai stabilă și pentru cât mai multe cicluri.

Disiparea energiei are loc, de exemplu, în zonele special realizate ale grinzilor unde apar articulații plastice și la bazele stâlpilor, elemente cu un rol important, însă, și în sistemul pentru preluarea încărcărilor gravitaționale. Articulațiile plastice reprezintă zone de concentrare a degradărilor care de obicei nu mai pot fi reparate.

Ca urmare a faptului că siguranța vieții este asigurată, colapsul structurii este împiedicat și, nu în ultimul rând, ca urmare a unor factori economici, orientarea actuala în proiectarea seismică rațională a structurilor nu poate fi înlăturată, ea utilizându-se pe scara largă atât la proiectarea structurilor noi, cât și la consolidarea celor existente.

În esență proiectarea antiseismică, clasică, a structurilor se bazează pe conceptul de creștere a rigidității și capacității de rezistență a acestora împotriva cutremurelor prin utilizarea de: pereti structurali, contravântuiri, camașuri, aceste metode tradiționale duc însă la accelerații și deplasări mari pe verticală ale clădirilor.

Din această cauză componentele adiacente structurii pot suferi pagube majore chiar dacă aceasta în ansamblu nu este prea mult afectată, acest lucru nu este admis în cazul în care componentele adiacente sunt mai scumpe decât însăși structura. Construcțiile care adăpostesc utilaje de mare precizie și finețe, cum ar fi spitalele, secțiile de poliție și pompieri, centrele de comunicații, centralele electrice (hidro, termo și nucleare) trebuie să rămână operaționale inclusiv după un cutremur.

De asemenea proiectarea tradițională a cladirilor se bazează pe implicarea suprastructurii în preluarea totală a forțelor și deplasărilor seismice, în scopul evitării apariției colapsului local-partial și apoi a colapsului progresiv până la colapsul general.

Implică de obicei elemente structurale „robuste” care să ofere atât rigiditate la deplasări orizontale cât și capacități de rezistență prin intermediul cărora eforturile cerință ale cutremurelor să poată să fie preluate. Această metodă constă în scăderea perioadei fundamentale de vibrație.

### Aspecte privind izolarea seismică a bazei

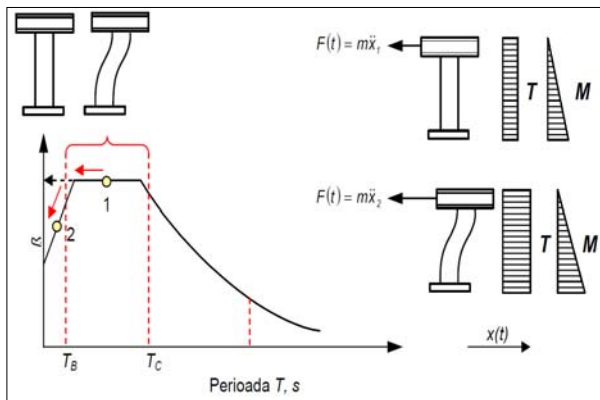


Figura 1 "Metoda clasică de proiectare/consolidare"

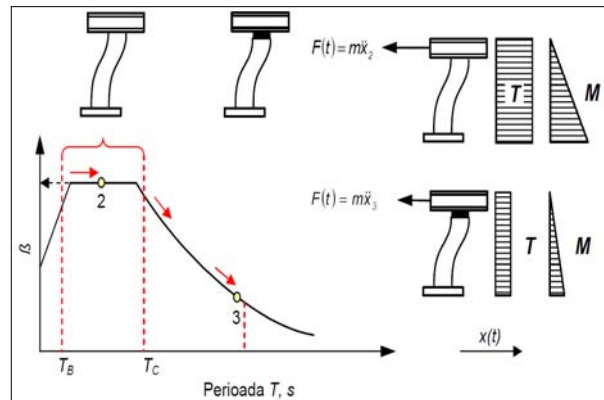


Figura 2 "Metoda de proiectare/consolidare prin izolarea bazei" creșterea perioadei fundamentale de vibrație

## 2. Principiul izolării bazei

Principiul fundamental al izolării bazei este acela de a modifica răspunsul clădirii astfel încât terenul să se miște sub clădire fără a transmite mișcarea acesteia. Sistemul ideal ar consta într-o separație totală, dar, în realitate, este necesar să existe câteva zone de contact între structură și teren.

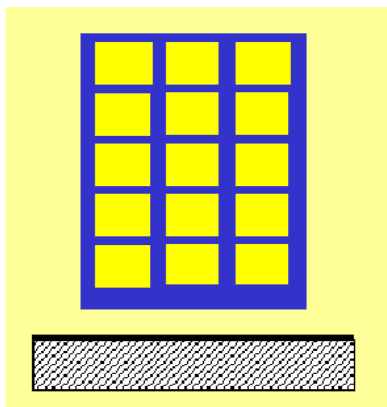


Figura 3 "Sistemul ideal al izolării bazei"

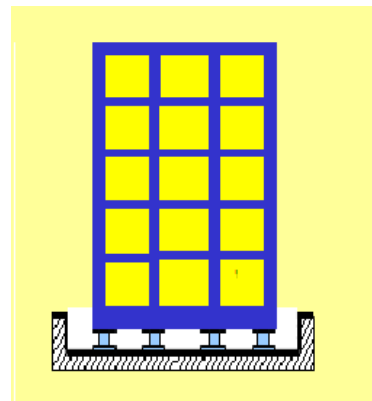


Figura 4 "Sistemul real al izolării bazei"

Amplasarea izolatorilor seismici duce la o mărire a flexibilității bazei în plan orizontal, în scopul creșterii perioadei de vibrație, în așa fel încât accelerația transmisă structurii să fie considerabil redusă.

Comparând variațiile deplasărilor și ale forțelor ce acționează asupra structurii se constată că odată cu schimbarea perioadei de vibrație, la o creștere a deplasărilor la nivelul bazei corespunde o scădere a forțelor ce acționează asupra structurii.

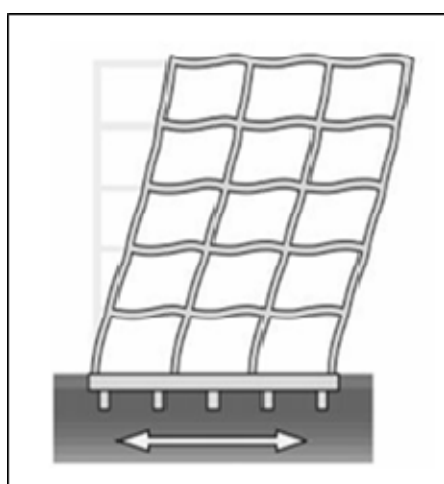
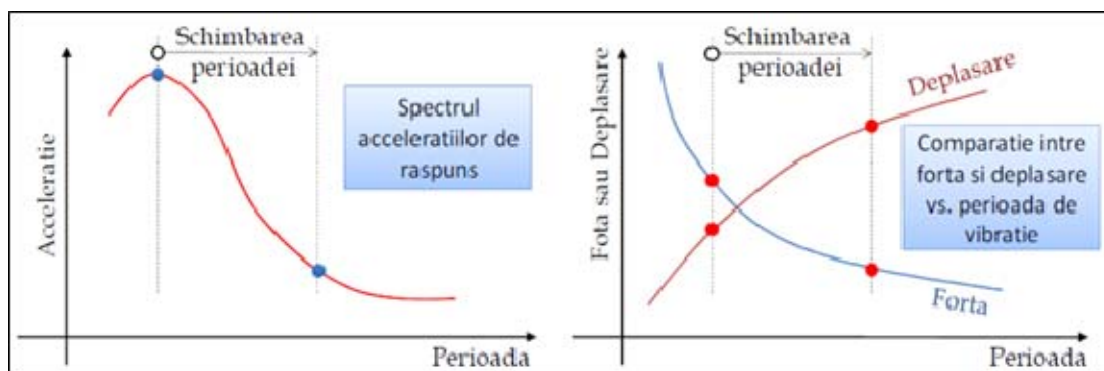


Figura 6 "Cladire proiectata traditional"

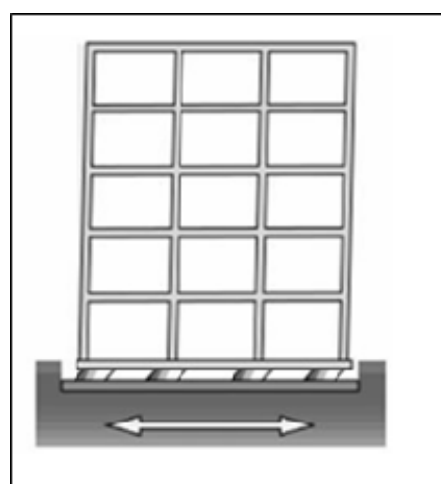


Figura 7 "Cladire izolata la baza"

Din figurile de mai sus se poate observa definirea conceptului de izolare a bazei și implicit avantajul structurii izolate: deplasări relative de nivel mai mici, deformatii aproape inexistente, elemente puțin solicitate. Datorită rigidității laterale scăzute a stratului de izolare, structura are o perioadă fundamentală mult mai mare decât perioada fundamentală a aceleiași structuri cu baza fixă. Creșterea perioadei fundamentale a structurii izolate conduce la o reducere semnificativă a accelerațiilor impuse de seism structurii izolate (implicit a forțelor). Acest fapt poate fi observat din spectrul elastic al accelerațiilor.

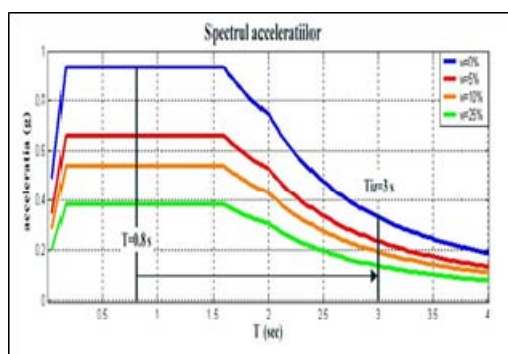


Figura 8 "Spectrul accelerațiilor"

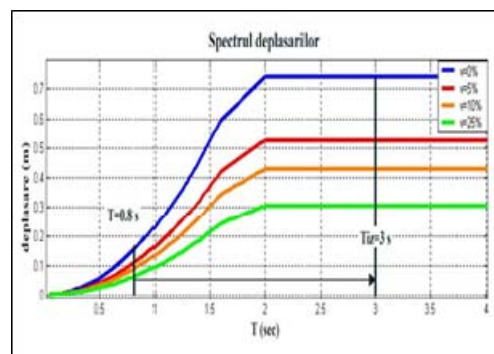


Figura 9 "Spectrul deplasărilor"

Analizând spectrul de deplasări se poate observa că acest „salt” al perioadei fundamentale a structurii izolate conduce la o cerință de deplasare mult mai mare decât în cazul structurii cu baza fixă.

Conceptul izolării bazei nu este chiar nou, săpăturile arheologice recente indicând că această practică se folosea încă pe vremea vechiului imperiu Persan. Descoperiri făcute în situl arheologic Pasargadae arătând că arhitecții din secolul 6 I.E.N. foloseau un sistem de izolare folosind două pietre șlefuite bine ca aparat de reazem (astfel încât în timpul seismului casa "glisa" pe cele două pietre, diminuându-i forța seismică). Tot în vechiul imperiu Persan s-au mai găsit și vestigii ale unor clădiri a căror fundație se sprijinea pe un sistem format din 3 șiruri de bușteni, fiecare șir dispus perpendicular față de cel adiacent. Astfel se obținea un sistem rudimentar și ieftin al unei izolări la bază în cazul unor seisme.

### 3. Tipuri de izolatori

Dispozitivele de izolare seismică sunt clasificate în două mari categorii:

- **Izolatori** (posedă flexibilitate laterală pentru a realiza izolarea la mișcări laterale și rigiditate mare pe direcție verticală pentru transferul încărcărilor gravitaționale):
  - Izolatori din cauciuc natural (NRB)
  - Izolatori din cauciuc natural cu miez de plumb (LRB)
  - Izolatori cauciuc sintetic ce posedă proprietăți de amortizare (HDBR)
  - Dispozitive ce permit alunecarea (SB)
- **Amortizori** (disipatori de energie cu scopul de a reduce deplasarea relativă a stratului de izolare și de a opri mișcarea)
  - Amortizori hidraulici – amortizori vâscoși
  - Amortizori din plumb – amortizori histeretici
  - Amortizori din oțel – amortizori histeretici

**A. NATURAL RUBBER BEARING (NRB)** – izolatori elastomerici din cauciuc natural

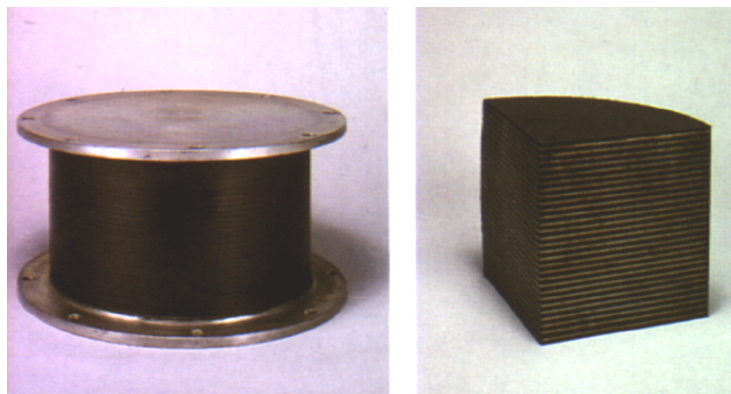


Figura 10 "Izolator din cauciuc natural"



Figura 11 "Izolator din cauciuc natural montat în sit"

### Proprietăți mecanice:

- Acești izolatori sunt formați din mai multe straturi de cauciuc natural cu grosimi cuprinse între 3 și 9 mm, intercalate cu plăcuțe de oțel cu grosimi între 2.5 și 4.5 mm.
- Diametrul unui izolator este între 500-1550 mm.
- Principalul parametru care controlează rigiditatea verticală este coeficientul de formă  $S1 = D/4tr$ , unde  $D$  este diametrul izolatorului și  $tr$  grosimea stratului de cauciuc; valorile uzuale ale lui  $S1$  sunt cuprinse între 30 – 40.
- Raportul între diametrul unui izolator și numărul straturilor de izolare, reprezentând coeficientul de formă  $S2 = D/ntR$  este aproximativ egal cu 5.
- Modulul de elasticitate transversal poate fi ales între 0.4, 0.7 sau 1.1 N/mm<sup>2</sup>.
- Efortul unitar de compresiune de lungă durată variază între 10 și 15 N/mm<sup>2</sup>, iar cel de scurtă durată variază între 20 și 30 N/mm<sup>2</sup>.
- Deformația de forfecare de proiectare este de aproximativ 250-300% (450 -550 mm pentru 800 mm diam.), iar deformația de forfecare ultimă, corespunzătoare pierderii stabilității generale, este în mod uzual egală cu 400% (550-800 mm).
- Raportul rigidităților verticale și laterale 2500-3000
- Consolidarea rigidității laterale după deformații > 300% (6-8 ori)

Un dezavantaj al acestor tipuri de izolatori ar fi lipsa proprietăților de amortizare, iar în vederea obținerii unei amortizări suplimentare este necesar cuplarea lor cu alte dispozitive cu amortizare

### B. HIGH DAMPING RUBBER BEARINGS (HDRB) - izolatori elastomerici din cauciuc sintetic cu proprietăți de amortizare ridicată

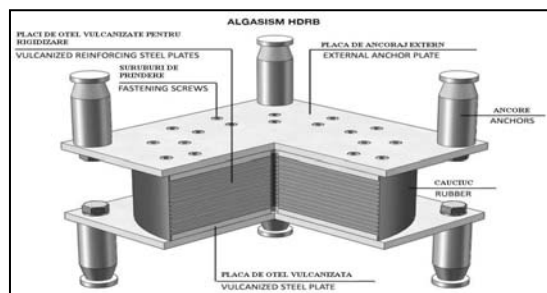


Figura 12 "Alcătuirea unui izolator din cauciuc cu proprietăți de amortizare ridicată"

### Proprietăți mecanice:

- Acest tip de izolatori este similar din punct de vedere al alcătuirii cu dispozitivele din cauciuc natural. Diferența constă în tipul de cauciuc utilizat care prezintă proprietăți de amortizare superioare.
- Proprietăți de amortizare de până la 20% din amortizarea critică.
- Valorile coeficienților de formă  $SI = D/4tR$  sunt în general mai mici față de NRB (cuprinse între 25 - 35) pentru a obține o proporție mai mare de cauciuc sintetic astfel încât să se atingă amortizarea necesară.
- coeficienții  $S2 = D/nt$  au valori cuprinse între 3 ~ 10.
- Efortul unitar de compresiune maxim recomandat este de 10 N/mm<sup>2</sup> pentru încărcări de lungă durată și cel pentru încărcări de scurtă durată variază între 15 și 20 N/mm<sup>2</sup>, mai reduse în comparație cu cele corespunzătoare NRB.
- Rigiditatea laterală depinde în principal de deformația transversală maximă, de temperatură și efortul de compresiune.
- Amortizarea echivalentă este în jur de 20% pentru valori ale deformației transversale de până la 100%.

### Avantaje:

- Eficiența ridicată în reducerea impulsului seismic și degradărilor.
- Capacitate de deformare laterală mare în condițiile unor încărcări verticale ridicate.
- Amortizare vâscoasă ridicată.
- Capacitate de revenire la poziția inițială.
- Rigiditate laterală mică permițând mărirea foarte mult a perioadei fundamentale.

### Dezavantaje:

- Probleme de stabilitate când deplasarea orizontală devine foarte mare.
- Probleme din cauza îmbătrânirii materialului elastomer.
- Rigiditate laterală mică transpusă în practică prin deplasări și pentru încărcări mici.

## C. LEAD RUBBER BEARINGS (LRB) - dispozitive de izolare de cauciuc cu miez de plumb

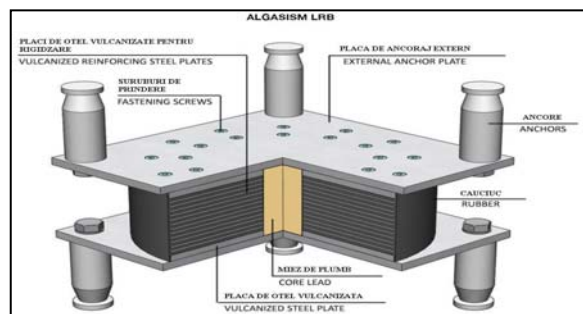


Figura 13 "Alcătuirea unui izolator din cauciuc cu miez de plumb"





Figura 14 "Alcătuirea unui izolator din cauciuc cu miez de plumb"

### **Proprietăți mecanice:**

- Dispozitivul este un izolator din cauciuc de tip NRB în care este introdus un miez de plumb ce are rolul de a disipa histeretic energia indusă.
- LRB asigură flexibilitatea laterală (datorită proprietăților elastice ale cauciucului) precum și amortizare histeretică (datorită deformațiilor plastice ale plumbului).
- Limitele pentru efortul unitar de compresiune maxim precum și valorile rigidității verticale sunt similare cu cele corespunzătoare NRB.
- Modelul analitic de calcul folosit uzual este un model biliniar modificat cu coeficienții de dependență furnizați de producători în catalogul produselor.
- Deformațiile maxime de proiectare și ultime sunt 400 – 500 mm și respectiv 600 –700 mm.
- Forța laterală corespunzătoare curgerii este de 100 KN (100 mm diametru miez de plumb)

### **Avantaje:**

- rigiditate laterală mare inițială (de 10 – 16 ori mai mare ca rigiditatea laterală post-curgere) asociată unor forțe orizontale relativ scăzute, produse în general de vânt.
- comportament rigid-plastic al miezului de plumb la încărcări mici
- comportament histeretic foarte stabil
- capacitate mare de amortizare ( $\xi = 30\%$ )
- plumbul are rezistența la oboseală ciclică ridicată

### **Dezavantaje:**

- probleme de stabilitate când deplasarea orizontală devine foarte mare
- probleme din cauza îmbătrânirii materialului elastomer
- din cauza deformațiilor post elastice suferite de miezul de plumb cauciucul își pierde capacitatea de revenire la poziția inițială



#### D. FRICTION PENDULUM BEARINGS (FPB) – izolatori cu frecare de tip pendul inversați

Izolatorii seismici cu frecare sunt probabil printre primele dispozitive propuse pentru realizarea decuplării suprastructurii de infrastructură. Sistemele FPB constau în blocuri de PTFE (politetrafluoretlenă) ce alunecă pe plăci din oțel inoxidabil. Principala caracteristică a FPB este rigiditatea laterală inițială mare, care scade semnificativ după ce este inițiată alunecarea.

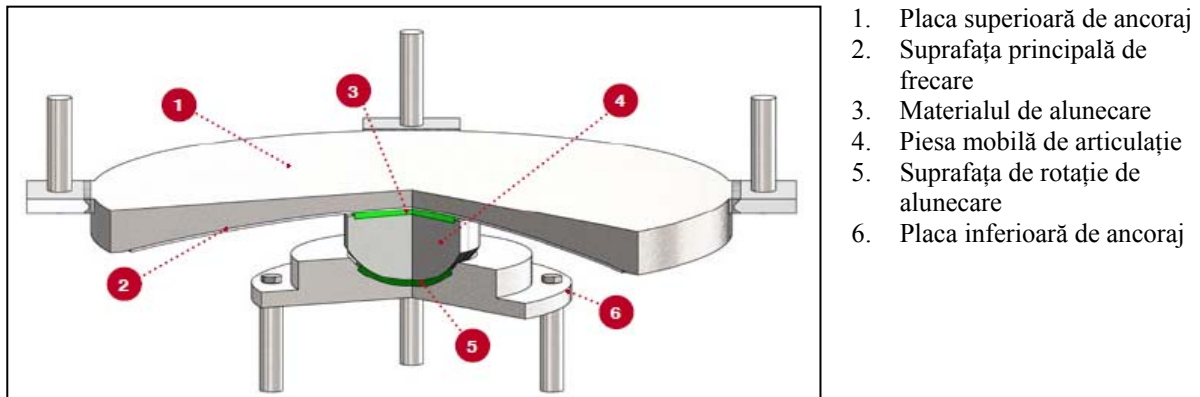


Figura 15 "Izolatori cu frecare de tip pendul inversați"

#### Proprietati mecanice:

- Rigiditate inițială foarte mare
- Rigiditate neglijabilă după inițierea mișcării (folosite în conjuncție cu NRB, HDRB, LRB)
- În principal adoptate pentru reducerea rigidității la deplăsări mari ale cladirilor izolate.
- Coeficientul de frecare depinde în general de presiunea verticală și de viteza mișcării.

#### Avantaje:

- curba histeretică stabilă
- capacitate ridicată de revenire la poziția inițială
- rigiditate mare la încărcări mici (vânt)
- reducerea deplasărilor în stadiul ultim datorită frecării

#### Dezavantaje:

- cost ridicat de producție
- probleme în definirea coeficientului de frecare datorită sensibilității la coroziune
- sensibilitate ridicată la încărcări verticale mari (suprafața ovală se poate deforma)
- degradarea suprafețelor de glisare după câteva cicluri de încărcare.

## **4. Proiectarea tradițională a clădirilor cu structura din beton armat**

### **4.1 Alegerea structurilor pentru analiză**

Pentru prezentul studiu s-a dorit analizarea a nouă modele de structuri, diferența între ele fiind forma și regimul de înălțime. Modelarea structurilor s-a efectuat cu ajutorul programul ETABS astfel:

- S-au realizat o serie de studii (2x9 modele) pentru cladiri cu structura din b.a. (cadre respectiv dual)– cladire formă pătrată (cu 3 regimuri de înălțime: S+P+14, S+P+9, S+P+4), clădire formă dreptunghiulară (cu 3 regimuri de înălțime: S+P+14, S+P+9, S+P+4), clădire formă rotundă (cu 3 regimuri de înălțime: S+P+14, S+P+9, S+P+4), încastrarea suprastructurii considerându-se la cota planșeului peste subsolul 1.
- S-au realizat 2x9 modele de analiză cu aceleași tipuri de clădiri, luând în considerare modelarea interacțiunii teren-structură.
- S-au realizat 2x18 modele de analiză cu aceleași tipuri de clădiri, luând în considerare izolarea bazei, cu izolatori tip LRB și HDRB.

### **4.2. Date detaliate ale temei. Pasi.**

- Funcțiunile cladirilor
- Date generale de alcatuire ale cladirilor
- Caracterizarea amplasamentului și a construcției conform P100-1/2013
- Calculul terenului de fundare
- Valori de proiectare ale rezistențelor materialelor
- Dimensiuni clădire

### **4.3. Calculul structurilor la acțiuni orizontale și verticale**

#### **A. Modelarea structurii**

Modelarea structurilor s-a efectuat cu programul **ETABS**. Încastrarea suprastructurilor se consideră la cota planșeului peste subsol.

#### **B. Proiectarea rigidității la forțe laterale**

În conformitate cu P100-1/2013, verificarea deplasărilor relative de nivel se face la două stări limită, respectiv **starea limită de serviciu (SLS)** și **starea limită ultimă (SLU)**. Elementele structurii care se supun verificării au dimensiunile stabilite în faza anterioară de predimensionare.

### **4.4. Dimensionarea elementelor structurale – armare longitudinală și transversal**

- grinzi
- Stalpi
- pereti

#### 4.5. Modelarea interacțiunii teren-structură

S-a optat pentru o fundație de tip radier. În vederea obținerii eforturilor de dimensionare a radierului, s-a modelat infrastructura clădirii cu ajutorul programului ETABS, considerând o comportare elastică a ansamblului. Pentru a modela comportarea elastică a structurilor, coeficientul seismic a fost amplificat cu 2. Pentru predimensionarea radierului s-a urmărit ca  $h_r > 1/8 l_{max}$ ,  $h_r$  fiind înălțimea radierului și  $l_{max}$  – distanța maximă inter-ax.

Verificarea radierului la străpungere s-a făcut în zonele de rezemare a stâlpilor centrali pe radier.

Pentru modelarea interacțiunii teren-structură s-au ținut cont de următoarele ipoteze:

- Modelarea terenului pentru o comportare elastică s-a făcut ținând seama de ipotezele Winkler (mediu elastic de tip Winkler);
- Se cunoaște coeficientul de deformabilitate de tip Winkler (coeficientul de pat) pentru condiții de comportare statică  $k_s$  (care de principiu reprezintă raportul dintre presiunea respectiv tasarea admisibile și că unitate de măsură este de tip  $[F]/[L^3]$ );
- Mișcarea infrastructurii în terenul de fundare (cele două translații orizontale - pe x și y respectiv torsiunea - în jurul axei z) este împiedicată. Baza se mișcă odată cu terenul. Așadar rămân libere numai rotațiile în jurul axei x respectiv y. Translația pe axa z este permisă numai în sensul de tasare. Pentru modelarea acestora se folosesc elemente finite LINK de tip GAP, introduse în fiecare nod al radierului.
- Pentru comportarea dinamică a terenului, tranzitorie, conform literaturii de specialitate se consideră un coeficient de deformabilitate de tip Winkler  $k_d \approx 10k_s$ .

### 5. Studiu comparativ la clădirile cu structura din beton armat folosind izolarea bazei

#### 5.1. Propunerea tipurilor de izolatori folosiți în studiul de caz

Pornind de la ecuația profesorului Kelly T.E., 2001, **CAPACITATEA > CERINȚĂ**, spre deosebire de abordarea tradițională de proiectare a structurilor în zone seismice, care pornește de la ipoteza că în privința cerinței nu se poate interveni și tratează doar problema capacității, principiul izolării bazei, adică abordarea “alternativă”, propune o reducere a cerinței prin introducerea unor dispozitive mecanice (sisteme de disipare a energiei).

S-au propus pentru studiu izolatori din cauciuc natural cu miez de plumb, LRB (Lead Rubber Bearing), cu secțiuni circulară și izolatori din cauciuc sintetic ce posedă proprietăți de amortizare- HDRB (High- Damping Rubber Bearing), deasemenea cu secțiuni circulare, cu proprietățile prevăzute de producătorul ALGA ([www.alga.it](http://www.alga.it)).

ALGA a dezvoltat mai multe tipuri de cauciuc folosit în alcătuirea izolatorilor, pentru a se potrivi nevoilor diferite de design. Pentru HDRB sunt disponibile 3 tipuri de cauciuc:

- cauciuc moale, cu modulul de elasticitate  $G = 0,4 \text{ N/mm}^2$  și 10% amortizare vâscoasă echivalentă (Izolatori HDS, „soft”)
- cauciuc normal, cu modul de elasticitate  $G = 0,8 \text{ N/mm}^2$  și 10% amortizare vâscoasă echivalentă (Izolatori HDN, „normal”)
- cauciuc tare, cu modulul de elasticitate  $G = 1,4 \text{ N/mm}^2$  și 16% amortizare echivalentă vâscoasă (Izolatori HDH, „high”)
- Pentru LRB sunt disponibile 2 tipuri de cauciuc:
- cauciuc moale, cu modulul de elasticitate  $G = 0,4 \text{ N/mm}^2$  și 10% amortizare vâscoasă echivalentă (Izolatori LRS, „soft”)
- cauciuc normal, cu modul de elasticitate  $G = 0,9 \text{ N/mm}^2$  și 4% amortizare vâscoasă echivalentă (Izolatori LRN, „normal”)

Pentru izolarea clădirilor se folosesc izolatori tip HDN, HDH, LRS și LRN dimensionați după cum urmează în subcapitolul următor.

## 5.2 Dimensionarea izolatorilor

### 5.2.1. Modelarea matematică izolatorilor HDRB

Modelarea matematică a dispozitivelor HDRB se poate face prin mai multe metode și presupune în esență modelarea rigidității laterale sau a proprietăților de disipare a energiei induse. S-a considerat că suprastructura rămâne în domeniul liniar-elastic de comportare. Determinarea caracteristicilor dinamice ale suprastructurii s-a făcut considerând, ca date de intrare un set de valori pentru perioada suprastructurii (sau perioada sistemului dacă acesta ar avea baza fixă).

Pentru a efectua calculul liniar echivalent cu spectru de răspuns pe structurile izolate s-au avut în vedere următorii pași:

1. S-a determinat spectrul de răspuns al zonei în cauză – București, corespunzătoare fiecărui tip de amortizor utilizând spectrul din P100-1/2006 (diferența între clădirile izolate și cele neizolate fiind factorul de comportare  $q$ , care este 1,5 conform literaturii de specialitate, față de 6.75 la clădirile neizolate în cadre, dar și amortizarea vâscoasă echivalentă  $\xi$ ).

2. S-a ales o valoare țintă a perioadei de vibrație pentru structura izolată (în mod normal, se consideră de 3 ori mai mare decât perioada de vibrație a structurii neizolate).

3. S-a determină masa totală seismică a structurii.

4. Având în vedere parametrii  $T_{iz}$ , perioada de vibrație a sistemului izolat și  $M$  masa structurii, s-a determinat rigiditatea globală necesară,  $K_r$ , pentru sistemul de izolare prin următoarea ecuație:  $K_r = 4 \cdot \pi^2 \cdot M / T_{iz}^2$

5. S-au ales izolatorii din catalogul ALGA, luând în considerare următorii parametri:

- rigiditatea totală (suma rigidităților fiecărui izolator trebuie să fie, pe cât posibil, egală cu  $K_r$ );

- sarcina verticală pentru fiecare izolator;
  - deplasarea orizontală, care s-a calculat folosind următoarea formulă:  

$$S_{\max} = a_g * (T/2 \pi)^2$$
6. Modelarea izolatorilor s-a realizat cu ajutorul programului ETABS, introducând LINK-uri de tip ISOLATOR1 și ISOLATOR2. S-au ales locațiile pentru a instala izolatoarele în structură. S-au folosit 4 izolatori pentru clădirile S+P+4E formă pătrată, 8 izolatori pentru clădirile S+P+4E – formă dreptunghiulară și cilindrică, 16 izolatori pentru clădirile S+P+9E și 28 izolatori pentru clădirile S+P+14E, astfel încât centrul de rigiditate să fie cât mai aproape posibil de centrul de masă. În acest fel, în timpul cutremurului numai modurile de translație vibrații au fost activate, în timp ce torsiunea pe primele două moduri de vibrație să fie neglijabilă. Modurile de vibrație de translație au avantajul evident de a face ca toate izolatoarele să lucreze în același mod.
7. După ce izolatorii au fost aleși, s-a introdus spectrul de răspuns modificat, prin introducerea valorii de amortizare corespunzătoare izolatorilor, în funcție de factorul următor:  $\eta = \sqrt{10 / (5 + \zeta * 100)}$

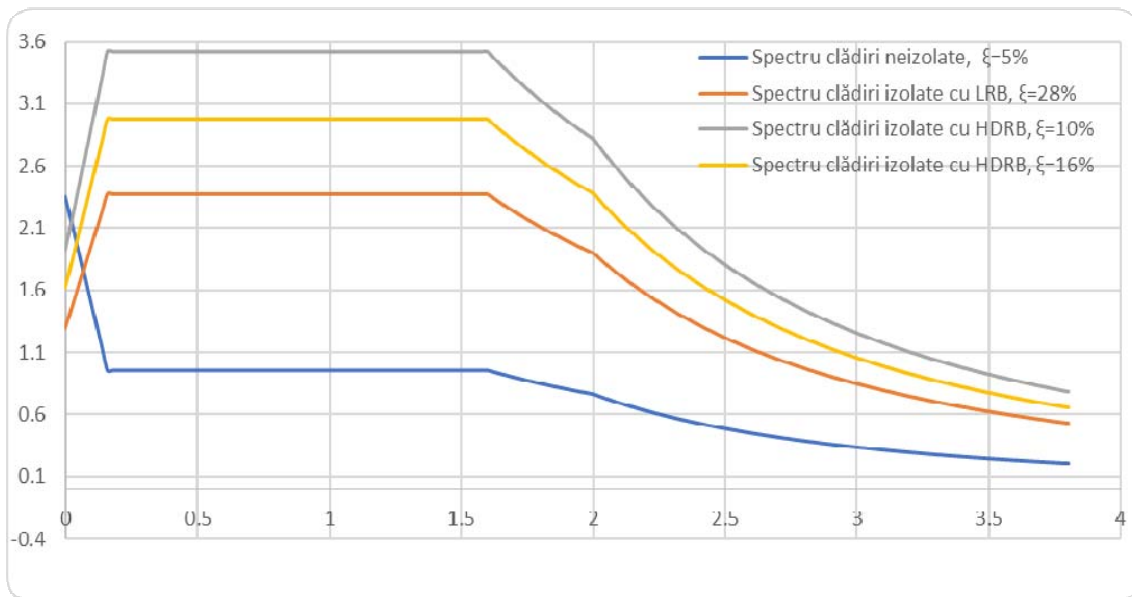


Fig 16 Représentarea grafică a funcțiilor de răspuns spectral

### 5.2.2. Modelarea matematică izolatorilor LRB

Comportamentul lor poate fi definit de următorii parametri:

- $F_y$  punctul curgere al miezului de plumb
- $K_{lead}$  rigiditate orizontală
- $K_r$  rigiditate orizontală

Valorile pentru acești parametri sunt prezentate în tabelele cu proprietăți ale izolatorilor furnizați de ALGA. Calculul liniar echivalent, se efectuează cu aceeași procedură descrisă mai sus pentru izolatorii de tip HDRB, cu următoarele diferențe:

- În loc de  $K_r$  se consideră  $K_{eff}$ , rigiditatea efectivă orizontală
- În loc de  $\xi$  se ia în considerare  $\beta_r$ , amortizarea efectivă.

### 5.3. Raspunsuri structurale obținute în urma studiului de caz la clădirile din beton armat în cadre, folosind metoda izolării bazei

#### 5.3.1. Perioade de vibrație cladiri izolate

În tabelul 1 sunt prezentate perioadele proprii de vibrație obținute pe primul mod de vibrație, la clădirile P+4. În primele 3 coloane sunt prezentate perioadele proprii corespunzătoare clădirilor pătrate, în următoarele 3 coloane, cele corespunzătoare clădirilor dreptunghiulare, iar în ultimele 3, perioadele proprii corespunzătoare clădirilor circulare.

	LRB	HDRB		LRB	HDRB		LRB	HDRB
T neiz.	T iz.	T iz.	T neiz.	T iz.	T iz.	T neiz.	T iz.	T iz.
0.5172	2.8213	3.1965	0.548	2.6076	3.4377	0.62	2.707	3.47
0.5172	2.8213	3.1965	0.548	2.6076	3.4377	0.62	2.707	3.47
0.5172	2.8213	3.1965	0.548	2.6076	3.4377	0.62	2.707	3.47

Tabel 1

Exemplu - Perioadele obținute la clădirile neizolate și izolate la bază, la clădirile P+4

#### 5.3.2. Deplasările obținute la structurile izolate la bază

O concluzie ce rezultă din analizarea răspunsurilor prezentate este următoarea: cu cât suprastructura este mai flexibilă, cu atât aportul modurilor superioare în răspunsul global devine mai evident (apare o amplificare a deplasărilor pe înălțime). Deasemenea, se observă că creșterea nivelului de amortizare din stratul de izolare are un efect benefic, prin reducerea cerințelor de deplasare din suprastructură (în studiul prezent s-a considerat o amortizare de 10% și 16 % pentru izolatori de tip HDRB și o amortizare de 28% pentru izolatori de tip LRB). Aceste concluzii confirmă studiul realizat de Oprișoreanu V. V. în teza sa de doctorat "Contribuții la aplicarea izolării bazei în proiectarea seismică din România" (2012).

În continuare se vor analiza deplasările relative de nivel pentru structurile izolate și neizolate:

#### 5.3.3. Eforturile rezultate în proiectarea tradițională vs. proiectarea prin metoda izolării bazei

În tabelul 2 sunt reprezentate eforturile maxime efective și eforturile capabile ale izolatoarelor, conform producătorului ALGA. S-a notat cu P – clădire pătrată, D – clădire dreptunghiulară și C – clădire circulară, 5,10 și 15 reprezentând numărul de niveluri.

Aspecte privind izolarea seismică a bazei

	5C		10C		15C	
	HDRB	LRB	HDRB	LRB	HDRB	LRB
<b>PmaxSLU</b>	13100	15200	17000	12700	17000	14800
<b>PmaxSeism</b>	9500	9300	10400	6850	10400	10800
<b>Pef. SLU</b>	13020	13100	14350	11865	15390	11865
<b>Pef. Seism</b>	9277	9115	9755	6696	9656	9696
	5D		10D		15D	
	HDRB	LRB	HDRB	LRB	HDRB	LRB
<b>PmaxSLU</b>	17000	14800	14050	14050	17000	14050
<b>PmaxSeism</b>	10400	10800	7950	7950	10400	7950
<b>Pef. SLU</b>	15350	14600	10843	10914	15883	13722
<b>Pef. Seism</b>	8146	9800	6897	6883	7158	6193
	5P		10P		15P	
	HDRB	LRB	HDRB	LRB	HDRB	LRB
<b>PmaxSLU</b>	14900	14800	14200	10500	13400	14050
<b>PmaxSeism</b>	10800	10800	7100	6400	8200	7950
<b>Pef. SLU</b>	14200	14156	12197	10358	10492	9945
<b>Pef. Seism</b>	9850	9900	6352	6386	8145	7940

Tabel 2 Exeplu- Eforturi maxime efective și eforturile capabile ale izolatoarelor folosiți în studiul de caz- cladire circulara

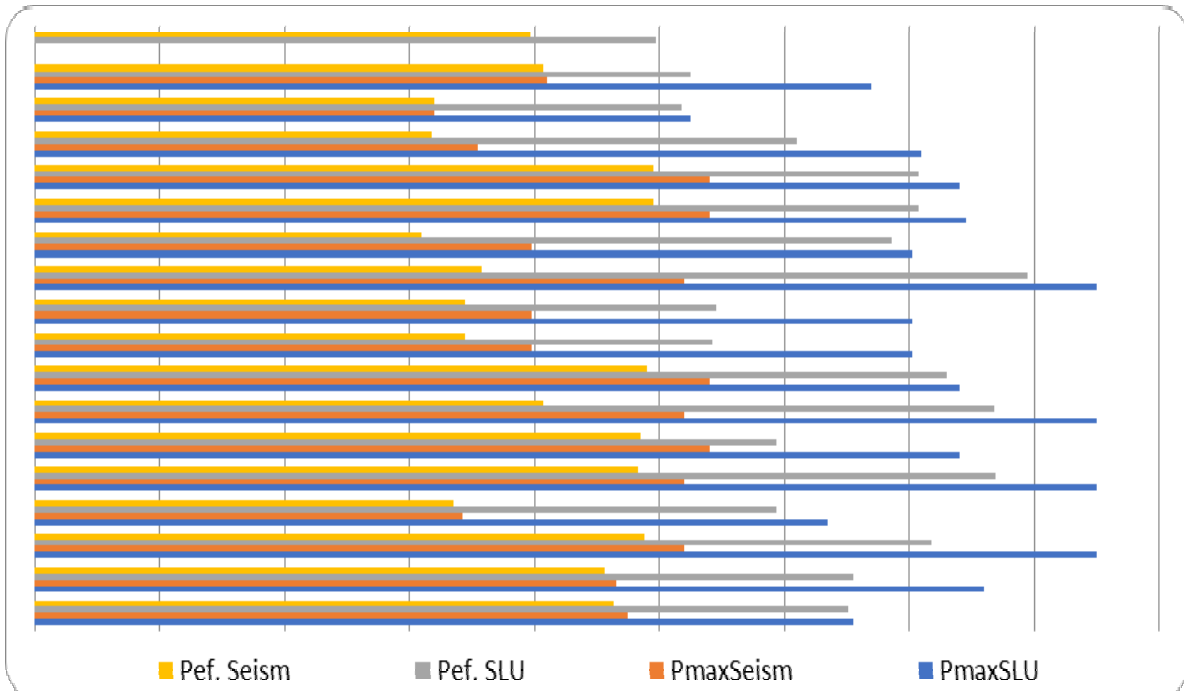


Fig. 17 Eforturi maxime efective și eforturile capabile ale izolatoarelor folosiți în studiul de caz



## **6. Concluzii cu privire la izolarea seismică a bazei la clădiri cu suctura din beton armat**

În urma tuturor de caz, privitor la comportarea clădirilor în cadre de beton armat, situate în București, proiectate cu ajutorul metodei izolării bazei, s-au constatat următoarele:

### **La clădiri cu structura în cadre din b.a.:**

#### **A. Din punct de vedere al perioadelor fundamentale de vibrație:**

- Pentru clădirile cu 5 niveluri perioadele fundamentale de vibrație cresc de cca 6 ori în cazul utilizării izolatorilor de tip HDRB respectiv de 5 ori în cazul utilizării izolatorilor de tip LRB;
- Pentru clădirile cu 10 niveluri perioadele fundamentale de vibrație cresc de cca 3.6 de ori în cazul utilizării izolatorilor de tip HDRB respectiv de cca 3 ori în cazul utilizării izolatorilor de tip LRB;
- Pentru clădirile cu 15 niveluri perioadele fundamentale de vibrație cresc de cca 3 de ori în cazul utilizării izolatorilor de tip HDRB respectiv de 2.3 ori în cazul utilizării izolatorilor de tip LRB;
- **Concluzie** – cu cât clădirile sunt mai rigide cu atât lungirea perioadelor fundamentale de vibrație prin utilizarea izolatorilor seismici este mai redusă.
- În general perioadele fundamentale de vibrație în cazul utilizării izolatorilor de tip LRB sunt circa 80% din perioadele fundamentale de vibrație pentru cazul utilizării izolatorilor seismici de tip HDRB (asadar HDRB-ul flexibilizează cu 20% mai mult structura față de LRB).

#### **B. Din punct de vedere al deplasărilor:**

- Pentru clădirile cu 5 niveluri, drifturile cresc în cazul utilizării izolatorilor seismici de tip HDRB cu circa 149% respectiv cu 153% în cazul utilizării izolatorilor seismici de tip LRB;
- Pentru clădirile cu 10 niveluri, drifturile cresc în cazul utilizării izolatorilor seismici de tip HDRB cu circa 41% respectiv cu 57% în cazul utilizării izolatorilor seismici de tip LRB;
- Pentru clădirile cu 15 niveluri, drifturile scad în cazul utilizării izolatorilor seismici de tip HDRB cu circa 11% respectiv cresc cu 16% în cazul utilizării izolatorilor seismici de tip LRB;
- În cazul utilizării izolatorilor seismici, cu cât clădirile au mai multe niveluri (sunt mai flexibile) drifturile scad respectiv cu cât clădirile sunt mai rigide (mai puține niveluri) drifturile cresc. Se constată că mai eficiente din punct de vedere al drifturilor sunt izolatoarele seismice de tip HDRB.
- La baza se constată că în medie deplasările cresc mai mult pentru clădirile care utilizează izolatori seismici de tip LRB față de HDRB.

- Pentru cladirile cu 5 niveluri deplasările sunt în medie de cca 23 cm, pentru cladirile cu 10 niveluri sunt de 25 cm iar pentru cladirile cu structura în cadre de beton armat cu 15 niveluri ajung la circa 27 cm.

### **C. Din punct de vedere al eforturilor sectionale în elementele structurii:**

- **Pentru stalpii din b.a.:**
  - Eforturile sectionale de tip momente încovoietoare și forte tăietoare, la stalpii din b.a., în cazul utilizării izolatoarelor seismice, se reduc la circa 68-98% din eforturile corespunzătoare structurii neizolate;
  - Eforturile sectionale de tip forte axiale practic rămân cu aceleași valori;
  - Eforturile sectionale scad mai mult în cazul utilizării izolatoarelor seismice de tip HDRB față de LRB.
- **Pentru grinzile din b.a.:**
  - Prin utilizarea izolatoarelor seismice, eforturile sectionale pe grinzi (momente încovoietoare pozitive și negative precum și forțele tăietoare) scad numai pentru cladirile cu mai mult de 5 niveluri. Cu cât clădirea are mai multe niveluri se constată o scădere din ce în ce mai mare (81-96% la 15 niveluri).
  - De asemenea se constată că (în sensul celor prezentate mai sus) eforturile scad mai mult în cazul utilizării izolatoarelor seismice de tip HDRB față de cei de tip LRB.

Având în vedere toate cele prezentate anterior, pentru cladirile care se proiectează cu structura duală din b.a. cu regim mic și mediu de înălțime (până în 15 niveluri) se constată că izolatoare seismice de tip HDRB sunt mai eficiente față de izolatoare seismice de tip LRB.

### **La clădiri cu structura duală din b.a.:**

#### **A. Din punct de vedere al perioadelor fundamentale de vibrație:**

- Pentru cladirile cu 5 niveluri perioadele fundamentale de vibrație cresc de cca 20 de ori în cazul utilizării izolatoarelor de tip HDRB respectiv de 15 ori în cazul utilizării izolatoarelor de tip LRB;
- Pentru cladirile cu 10 niveluri perioadele fundamentale de vibrație cresc de cca 9 de ori în cazul utilizării izolatoarelor de tip HDRB respectiv de 7.4 ori în cazul utilizării izolatoarelor de tip LRB;
- Pentru cladirile cu 15 niveluri perioadele fundamentale de vibrație cresc de cca 5.4 de ori în cazul utilizării izolatoarelor de tip HDRB respectiv de 4.7 ori în cazul utilizării izolatoarelor de tip LRB;
- **Concluzie** – cu cât cladirile sunt mai rigide cu atât lungirea perioadelor fundamentale de vibrație prin utilizarea izolatoarelor seismice este mai redusă.
- În general perioadele fundamentale de vibrație în cazul utilizării izolatoarelor de tip LRB sunt circa 80% din perioadele fundamentale de vibrație pentru cazul utilizării izolatoarelor seismice de tip HDRB (asadar HDRB-ul flexibilizează cu 20% mai mult structura față de LRB).

### **B. Din punct de vedere al deplasărilor:**

- Pentru cladirile cu 5 niveluri, drifturile cresc in cazul utilizării izolatorilor seismici de tip HDRB cu circa 30% respectiv cu 50% in cazul utilizării izolatorilor seismici de tip LRB;
- Pentru cladirile cu 10 niveluri, drifturile cresc in cazul utilizării izolatorilor seismici de tip HDRB cu circa 2% respectiv cu 20% in cazul utilizării izolatorilor seismici de tip LRB;
- Pentru cladirile cu 15 niveluri, drifturile scad in cazul utilizării izolatorilor seismici de tip HDRB cu circa 2% respectiv cresc cu 2% in cazul utilizării izolatorilor seismici de tip LRB;
- In cazul utilizării izolatorilor seismici, cu cat cladirile au mai multe niveluri (sunt mai flexibile) drifturile scad respectiv cu cat cladirile sunt mai rigide (mai putine niveluri) drifturile cresc. Se constata ca mai eficiente din punct de vedere al drifturilor sunt izolatoarele seismice de tip HDRB.
- La baza se constata ca in medie deplasările cresc mai mult pentru cladirile care utilizeaza izolatori seismici de tip LRB fata de HDRB.
- Pentru cladirile cu 5 niveluri deplasările sunt in medie de cca 30 cm, pentru cladirile cu 10 niveluri sunt de 35 cm iar pentru cladirile cu structura duala cu 15 niveluri ajung la circa 40 cm.

### **C. Din punct de vedere al eforturilor sectionale in elementele structurii:**

- **Pentru peretii din b.a:**
  - Eforturile sectionale de tip momente incovoietoare si forte taietoare, la peretii din b.a., in cazul utilizării izolatorilor seismici, se reduc la circa 48-93% din eforturile corespunzatoare structurii neizolate;
  - Eforturile sectionale de tip forte axiale practic raman cu aceleasi valori;
  - Eforturile sectionale scad mai mult in cazul utilizării izolatorilor seismici de tip HDRB fata de LRB.
- **Pentru stalpii din b.a:**
  - Eforturile sectionale de tip momente incovoietoare si forte taietoare, la stalpii din b.a., in cazul utilizării izolatorilor seismici, se reduc la circa 68-98% din eforturile corespunzatoare structurii neizolate;
  - Eforturile sectionale de tip forte axiale practic raman cu aceleasi valori;
  - Eforturile sectionale scad mai mult in cazul utilizării izolatorilor seismici de tip HDRB fata de LRB.
- **Pentru grinzilei din b.a:**
  - Prin utilizarea izolatorilor seismici, eforturile sectionale pe grinzi (momente incovoietoare pozitive si negative precum si fortele taietoare) scad numai pentru cladirile cu mai mult de 5 niveluri. Cu cat cladirile are mai multe niveluri se constata o scadere din ce in ce mai mare (86-95% la 10 niveluri).

- De asemenea se constată că (în sensul celor prezentate mai sus) eforturile scad mai mult în cazul utilizării izolatoarelor seismice de tip HDRB față de cei de tip LRB.

Având în vedere toate cele prezentate anterior, pentru clădirile care se proiectează cu structura duală din b.a. cu regim mic și mediu de înălțime (până în 15 niveluri) se constată că izolatoarele seismice de tip HDRB sunt mai eficiente față de izolatoarele seismice de tip LRB.

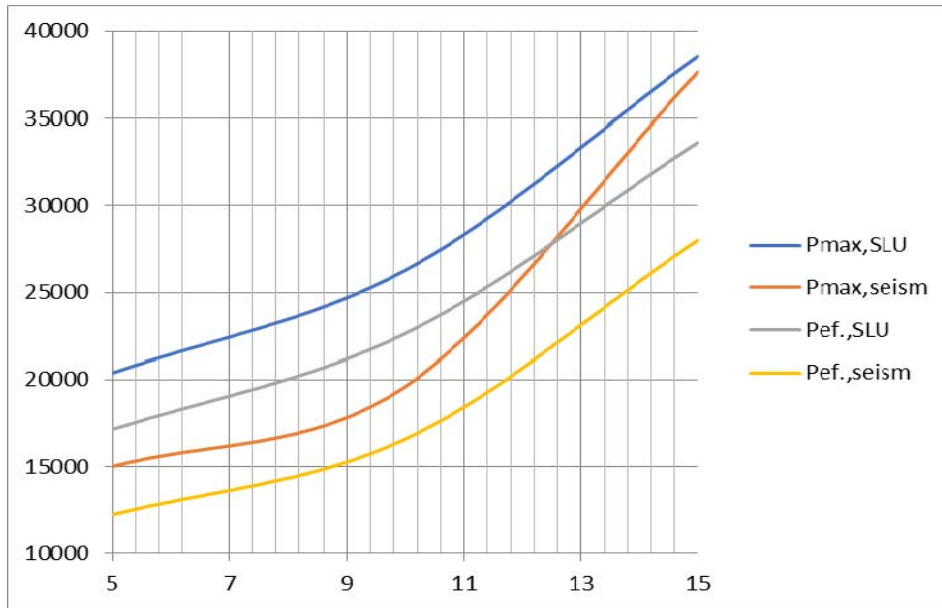


Figura 18 "Curba presiunilor capabile și efective ale izolatoarelor HDRB"

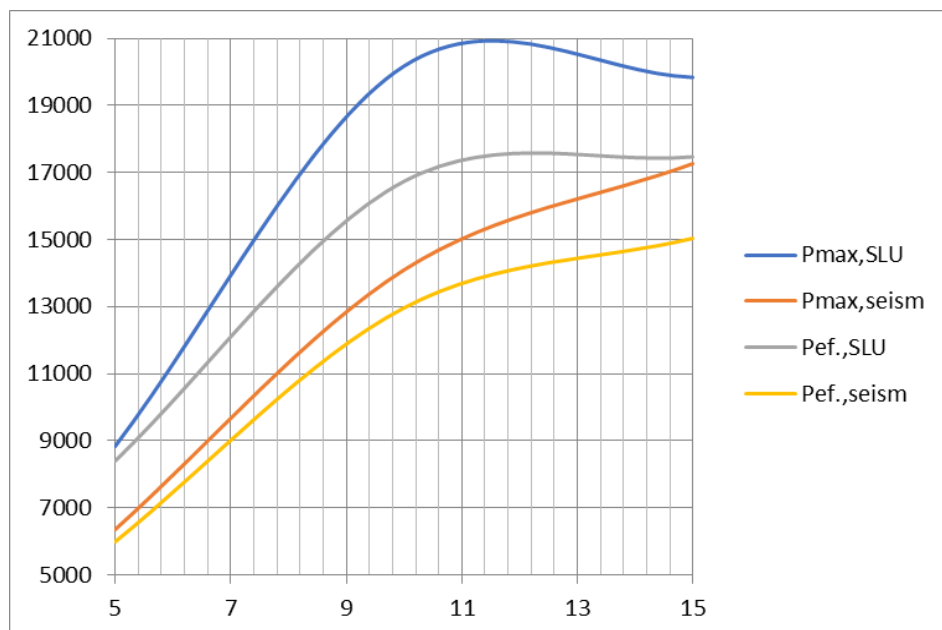


Figura 19 "Curba presiunilor capabile și efective ale izolatoarelor LRB"

## 7. Probleme practice legate de izolarea bazei

Partea de teorie privind dimensiunile elementelor sau a comportamentului cladirii au fost stabilite anterior. In continuare sunt prezentate o serie de probleme legate de punerea in practica a acestei metode, care daca nu sunt rezolvate si nu sunt gandite in concordanta vor face ca realizarea acestei metode sa fie ineficienta sau chiar imposibila.

Se observa din subcapitolele precedente ca deplasările la baza sunt in general mari, putand ajunge la 50-70 cm, pe ambele directii principale (aceiasi valoare care a rezultat si din dimensionarea izolatoarelor). Pentru a putea realiza aceasta deplasare, in jurul cladirii trebuie sa se realizeze o cuva din beton armat care sa imbrace infrastructura si care sa permita acesteia sa se miste liber in interiorul ei. Aceasta cuva va avea peretii marginali situati la o distanta de 90 cm fata de fata exterioara a subsolului (se ia in calcul si un factor de siguranta). Procedeul va fi descris in subcapitolele care urmeaza.

O alta problema care apare o reprezinta cea legata de instalatiile din subsol. Instalatiile existente de apa calda si menajera vor fi demontate se vor inlocui cu altele noi. Elementele de instalatie noi vor fi coborate pana la 20 cm deasupra placii de la subsol, astfel incat acestea sa intre prin spatiul dintre cele doua cadre de beton armat. Vor fi fixate de CPI si pe podea, iar in zonele de legatura cu suprastuctura se vor pune legaturi mobile care sa permita deplasarea fara ca acestea sa se degradeze. Instalatiile de apa calda si apa menajera vor avea montare racorduri din materiale elastice (cauciuc rezistent la uzuri si intemperii), instalatiile electrice vor avea un surplus de lungime iar instalatia de gaz va avea montat racord mobil din metal. Toate aceste masuri au rolul de a pastra functionala cladirea dupa ce apare o miscare seismica.

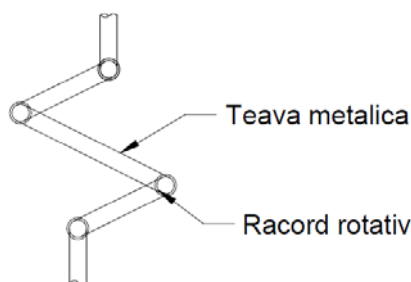


Figura 20 Racord instalatia de gaz

Scara care face legatura intre subsol si suprastuctura se va realiza astfel incat atunci cand va surveni o miscare seismica aceasta sa se deformeze.

Ultima problema importanta o reprezinta acoperirea spatiului ce ramane intre peretele subsolului si cel al cuvei de beton. Acest lucru este important pentru siguranta in

exploatare a clădirii și pentru a împiedica apa să intre în subsol și să producă degradări izolatoarelor. Acesta problemă se va rezolva prin dispunerea unui capac metalic liber la un capăt. La zona de intrare în clădire capacul metalic va fi folosit în componenta scării de la intrare.

Dificultăți pot apărea datorită spațiului restrâns în care se lucrează și în găsitura aparatului de lucru care să fie adecvată: dimensiuni reduse și să nu inducă vibrații mari în elemente. În continuare este prezentată o soluție de rezolvare a metodei consolidării prin izolarea bazei.

## **7. Tehnologia realizării izolării bazei**

Lucrările ce vor fi efectuate pentru realizarea izolării bazei sunt specifice lucrărilor din beton armat și vor respecta prevederile normativului NE 012/2-2010. Intervențiile la nivelul subsolului se vor face folosind utilaje speciale cu dimensiuni reduse ce pot fi utilizate din interiorul clădirii. Peretii din beton armat vor fi tăiați utilizând aparat cu disc diamantat.

Se va asigura aerisirea permanentă a punctului de lucru prin utilizarea de sisteme de ventilație și evacuare a prafului rezultat din lucrările de tăiere. Lucrarea de consolidare a construcției prin procedeul izolării bazei va parcurge următoarele etape de execuție:

- Etapa I: Lucrări pregătitoare și organizare de șantier;
- Etapa II: Lucrări de săpătură generală, realizarea cuvei și îmbunătățirea terenului de fundație;
- Etapa III: Realizarea cadrului purtător inferior – CPI;
- Etapa IV: Realizarea cadrului purtător superior – CPS;
- Etapa V: Montarea reazemelor izolatoare seismice;
- Etapa VI: Executarea lucrărilor de finisaje, tamplarie, pardoseli, trepte, trotuare, injectarea fisurilor din pereti etc;
- Etapa VII: Lucrări de finisaje.

Elaborarea acestor etape se detaliază în cele ce urmează:

### **ETAPA I: Lucrări pregătitoare și organizare de șantier:**

1. Organizarea de șantier va fi realizată în vecinătatea clădirii, unde constructorul își va monta baracile și își va depozita materialele. Acesta spațiu se va delimita prin folosirea unui gard realizat din tablă cutată din oțel. Se vor monta pancarde unde se vor afișa obiectivele și data de începere și de sfârșit a lucrărilor de intervenție, acest lucru va fi asigurat de către firma constructoare.

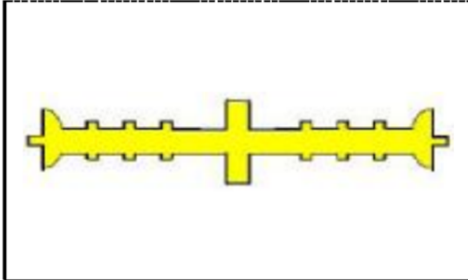
2. Lucrarile incep prin realizarea unei ridicari topografice a pozitiei constructiei, montandu-se repere geodezice pe perimetru. Acest lucru se poate realiza cu ajutorul unei nivele. Se va marca cota  $\pm 0,00$  la nivelul si se va intocmi planşa cu ridicarea topografica care va cuprinde: cota trotuarelor, cota pardoseala parter si subsol etc, planşa care va fi depusa la cartea constructiei; acest lucru este necesar pentru a putea avea un control bun asupra lucrarilor ce urmeaza a fi realizate;
3. Instalatia de incalzire, corpurile de incalzire cat si instalatia electrica din subsol vor fi protejate si pregatite pentru inlocuire. In zonele in care acestea se suprapun cu viiroatele elemente de beton armat se vor remonta in zona imediat apropiata pentru a nu intrerupe alimentarea cu apa calda si caldura cat si decuplarea instalatiilor de canalizare pentru o perioada indelungata;
4. Alimentarea cu energie electrica si de incalzire va fi intrerupta si va fi executata in solutie definitiva prin racord cu legaturi elastice. Pentru lucrare constructorul isi va monta un tablou si un contoar propriu pentru plata consumului de energie.

#### **ETAPA II: Lucrari de sapatura generala:**

1. Prima data se vor realiza lucrarile de desfacere pentru prutuarul existent si pentru gardutele metalice din zona unde urmeaza sa se faca sapatura.
2. Sapatura generala cuprinde lucrari necesare executarii cadrului purtator inferior (CPI) impreuna cu cuva de beton armat . Sapatura se va realiza cu utilaje mecanice ce produc vibratii mici (buldoexcavatoare de dimensiuni mici). Se vor efectua lucrari de desfacere a trotualului existent dupa care se va realiza sapatura pana la cota talpii fundatie existente.
3. Se executa la exterior o sapatura taluzata cu panta de 1/1 avand o zona dreapta de latime 0.90 m masurata de la fata exterioara a subsolului si o adancime in functie de cotele terenului sistematizat, pana la cota adancimii de fundare. Pe zona dreapta se va turna un strat de beton de egalizare de 5 cm si o latime de 90 cm.
4. Dupa realizarea sapturii se va trece la realizarea peretilor si a placii de beton armat ce, va lega peretele de fundatia existenta. Acest ansamblu va reprezenta marginea cuvei de beton armat. Armatura va fi realizata din bare de otel PC52 sub forma de plasa, legate intre ele cu sarma. Prima data se va turna placa de beton armat si apoi peretele cuvei. Se vor introduce carcusele de armatura pentru planşa de care sunt prinsi distantieri (min 4 dist/mp) pentru a respecta acoperirile cu beton prevazute in proiect. Se va avea grija ca barele de armatura sa fie fara pete de ulei sau pamant, lucru care ar afecta aderenţa cu betonul. Fasonarea barelor se va realiza in ateliere specializate, unde controlul calitatii este mult mai bun. La legatura dintre peretele cuvei si placa se va pune un



element se etansare, profil I20 de la SIKA, pentru a realiza impermeabilitatea rostului de turnare.



Construc					
I 15/3	15	3	1,00	20	5
I 15/4	15	4	1,20	20	5
I 15/5	15	5	1,30	20	5
I 20/4	20	4	1,60	20	10
I 20/5	20	5	1,80	20	10
I 25/5	25	5	2,30	20	15
I 30/7	30	7	3,10	20	25

Figura 21 Profil I de la SIKA

5. După montarea carcaselor de armatură și a profilului de etanșare, se va trece la turnarea betonului. Peste placă ce urmează să se realizeze se vor monta podine din scânduri de lemn, de pe care muncitorii vor putea să manevreze pompa de beton fără să calce direct pe barele de armatură, astfel schimbându-le poziția sau murdarindu-le. Se va folosi beton de clasă C25/30, transportat în utilaje speciale (autoagitatoare sau automalaxore). Înainte de punerea în oprea a betonului, responsabilul de șantier trebuie să facă o serie de verificări și prelevare de probe:
  - Recepția betonului se va face pe baza bonului de livrare și inspectarea vizuală a acestuia;
  - Prelevarea de probe de beton pentru verificarea caracteristicilor în stare întărită;
  - Dacă betonul nu respectă caracteristicile necesare sau dacă timpul de transport a fost mai mare decât trebuie, responsabilul de șantier este obligat să îl refuze;
  - Se vor uda suprafețele de beton existent cu care betonul proaspăt va lua contact (o dată cu 2-3 ore înainte de turnare și a doua oară cu câteva minute înainte de turnare).
6. Turnarea betonului se va face continuu, în staturi de maxim 50 cm grosime de la o înălțime de maxim 3 m. Se va inspecta vizual dacă toate barele de armatură sunt acoperite. Compactarea acestuia se va realiza cu vibratoare, avându-se cu grijă să nu se atingă barele în timpul acestui proces. Este obligatoriu ca pentru fiecare cantitate nouă de beton turnat să se marcheze pe un plan de turnare etichetele probelor prelevate din cantitatea respectivă.
7. Se va monta cofrajul peretelui de beton armat și se vor corecta eventualele erori de planeitate sau distanțe după verificarea acestuia prin efectuarea de măsurători. Toleranțele admisibile sunt definite în normativul NE 012/2 și sunt de 0.6 mm la 10 m pentru rectilinitate și planeitate și de 3.2 mm la 2 m înălțime pentru

perpendicularitate pe baza structurii. Se va introduce carcasa de armatura prevazuta cu distaintieri si agrafe care sa tina barele pe pozitie in timpul turnarii. La partea superioara a carcasei se va ingloba un profil metalic de tip L100x100x6 pentru a asigura sprijinirea capacului metalic ce urmeaza a fi montat. Turnarea betonului se va face respectand aceleasi reguli ca la placa. Cota superioara a peretelui se va afla la 5 cm deasupra CTN. Decofrarea se va face dupa ce betonul va atinge o rezistenta de minim  $2.5 \text{ N/mm}^2$ , acest lucru fiind indeajuns pentru ca elementul sa se sustina singur si sa nu se degradeze la margini in urma unor socuri mecanice. Acesta se poate determina in urma unor calcule sau prin incercari pe probele luate la turnare.

8. Dupa atingerea clasei betonului, se va monta pe fata exterioara a peretelui o membrana hidroizolatoarea care va fi protejata de un strat de polistiren expandat de 5 cm. Se va proceda la umplerea cu pamant compactat a partii taluzate a sapaturii. Compactarea se va realiza in straturi succesive de 20 cm. Umplerea se va realiza pana la cota -0.1m fata de CTN. Pe o distanta de 50 cm fata de fata peretelui se va realiza un strat de rupere a capilaritatii de 10 cm grosime, peste care se va pune o folie PVC si se va turna trotuarul din jurul blocului cu o panta spre exterior de 2%. Se armeaza si se toarna trotuarul dupa care se va umple si restul de pamant.

### **ETAPA III: Realizarea cadrului purtator inferior – CPI:**

1. Cadrul purtator inferior (CPI) se compune din:
  - fundatiile existente ale constructiei carora li se vor dubla dimensiunile
  - cuva de beton armat realizata in etapa II
2. Se va marca cu vopsea pe elementele existente dimensiunile CPS si pozitiile golurile unde vor fi introduse masutele metalice. Trasarea se va realiza cu teodolitul si furtunul de nivel.
3. Marirea dimensiunilor fundatiilor de va realiza prin executarea sapaturilor de o parte si de alta a fundatiilor existente. Pentru elementele exterioare sapatura se va realiza in totalitate in interior. Dimensiunile finale ale elementelor trebuie sa fie 70x220 cm, cota de fundare la 60 cm de pardoseala subsolului si 10 cm deasupra pardoselii pentru a preveni ca eventuale scurgeri de apa sa nu ajunga la nivelul izolatorilor.
4. Se executa sapatura pana la baza fundatiei existente (in cazul in care este turnat beton de egalizare, sapatura se va realiza pana la baza stratului de beton de egalizare), se niveleaza. Suprafetele libere ale fundatiei existente se vor prelucra prin cioplire cu dalta si ciocanul pentru a induce cat mai putine vibratii in structura. Prelucrarea se face pentru a realiza o conlicrare cat mai buna intre elementul

existent și cel ce urmează să se toarne. Înainte de montarea armaturii, suprafața se curăță cu jet de aer pentru a înlătura praful. Se toarnă betonul de egalizare (clasa C8/10). Se montează armatura având o acoperire la partea inferioară de 5 cm și așezată pe distanțieri din plastic. Cu 30 min înainte de betonare se vor uda fețele prelucrate. Se toarnă betonul cu pompa, respectând aceleași reguli ca la turnarea plăcii. Betonul de clasa C25/30, XC2, S4 (clasa de tasare >220 mm), ClO<sub>2</sub> (conținut cloruri 0.2%), D<sub>max</sub>=16mm (dimensiunea maximă a agregatului) va fi bine vibrat. Săpătura se va executa manual pentru a evita eventualele degradări elementelor din subsolul construcției.

#### **ETAPA IV: Realizarea cadrului purtător superior – CPS:**

1. Înainte de începerea lucrărilor se vor verifica dacă cotele reale ale construcției corespund cu cele din planurile de execuție: grosime ziduri, conturul etc.
2. Se marchează pe zidul de contur al clădirii poziția golurilor în care se vor monta masutele metalice necesare susținerii suprastructurii pe perioada reabilitării;
3. După trasarea golurilor va fi chemat proiectantul pentru a verifica ordinea spargerilor, dimensiunea golurilor și corespondența acestora cu aceea a masutelor metalice ce se vor monta în cadrul purtător inferior;
4. Poziția golurilor va fi definitivată prin tăierea golurilor cu freză cu disc diamantat pe adâncimea de 15 cm ;
5. Pentru executarea golurilor în perețele de beton armat, se vor folosi dispozitive de tăiere cu disc diamantat și mașini de carotat cu suport de susținere. Suportul este necesar pentru asigurarea operațiunii în plan orizontal, ținând cont materialul din care sunt realizați pereții;
6. Îndepărtarea materialului tăiat, după practicarea golurilor prin carotare, se va realiza cu dalta și ciocanul ;
7. Montarea masutelor în golurile create conform ordinii stabilite în proiect se realizează după pozarea unui strat de mortar de ciment M50, nivelat, la partea inferioară. Se montează apoi un strat de carton asfaltat sau membrana, după care se introduc masutele metalice corespunzătoare grinzii de cadru. Se verifică cotele și orizontalitatea, după care se trece la operațiunea de impanare. Aceasta se realizează cu perechi de pene lungi de 15-20 cm, montate în funcție de lungimea laturii masutei, în 4-5 puncte, dar niciodată mai puțin de trei perechi.
8. După verificarea poziției, cotelor și planeității etc se trece la injectarea spațiului dintre partea superioară a masutei și a elementului tăiat. Pe toate laturile masutei se închide spațiul cu ipsos în amestec cu aracet, montându-se stuturi din plastic pentru injectare pe toate laturile pe o adâncime de 10-15cm. Operația de injectare se face urmărind un sens de umplere al spațiilor libere, până când

materialul injectat iese prin fiecare stut, dupa care acestea se astupa cu dopuri din lemn. Materialul de injectare este constituit dintr-un amestec de lapte de ciment si aracet, cu reteta verificata la laboratorul santierului.

9. Este interzisa operatiunea de spargere a peretilor pentru doua masute alaturate. Intervalul de timp dintre operatiile de spargere a peretilor pentru doua masute alaturate trebuie sa fie de minimum 48 ore. In acest sens se va deschide un registru in care vor fi consemnate pentru fiecare masuta in parte, data la care au fost efectuate operatiunile prevazute precum si persoana care le-a executat.
10. Se vor prelucra suprafete laterale ale elementelor ce urmeaza sa intre in contact cu beton prosapat. Prelucrarea prin buceardare cu dalta si ciocanul dupa care se curata cu jet de aer. Pentru a putea turna betonul in cofraje se va catota placa de la parter in zona casei scarii pe interior. La exterior se vor monta palnii. Carotarea se va realiza doar pe o parte si se va carota la acelasi nivel si elementul vertical din subsol pentru a putea turna beton si in zona unde nu este acces pe la partea superioara.

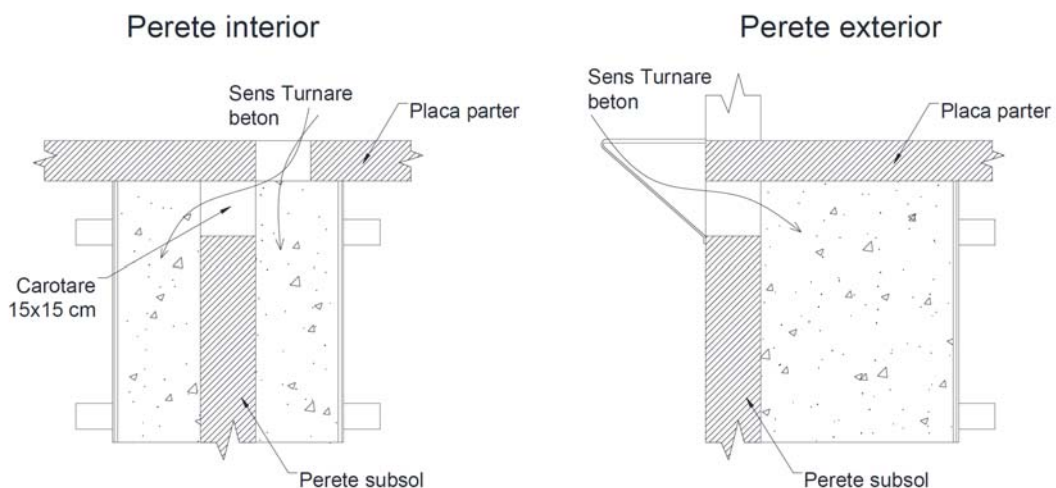


Figura 22 Carotarea elementelor existente

11. Dupa terminarea operatiunilor pregatitoare pe o anumita zona, se poate trece la montarea armaturii de rezistenta, conform planurilor de armare. Se vor incheia procese-verbale de verificare pentru fiecare zona la care au fost terminate lucrarile de armare. Se va acorda importanta deosebita pozitionarii carcaselor de filete necesare prinderii izolatorilor seismici.
12. Operatiunea de cofrare se va executa cu mare atentie, utilizandu-se materiale corespunzatoare pentru a asigura forma si planeitatea elementelor rezultate, evitandu-se deformatiunile, desprinderile pe timpul betonarii, in conditiile in care

dimensiunile grinzilor componente ale cadrului purtător superior sunt stabilite cu mare precizie. Pentru a avea un control al calitatii cât mai bun se vor folosi cofraje performante (DOKA sau Peri). De asemenea cofrajele se vor unge cu decofrol, pentru a permite ca îndepărtarea acestora să fie ușoară.

13. Turnarea betonului în elementele CPS se va realiza pe conturul exterior prin procedeul de turnare prin palnie. După 24 h palnia se va desface pentru a fi tăiată zona de beton evazată. Betonul va fi bine vibrat cu un dispozitiv tip lance din partea interioară și cu vibratoare pentru cofraje din zona exterioară pentru a evita apariția de goluri de aer din elemente. Turnarea betonului se va executa sub conducerea directă a unor profesioniști cu experiență bogată în munca pe șantier.
14. Se precizează că masutele nu trebuie poziționate în dreptul unui reazem izolator, fapt pentru care se va acorda atenție la poziția de montaj inițială.

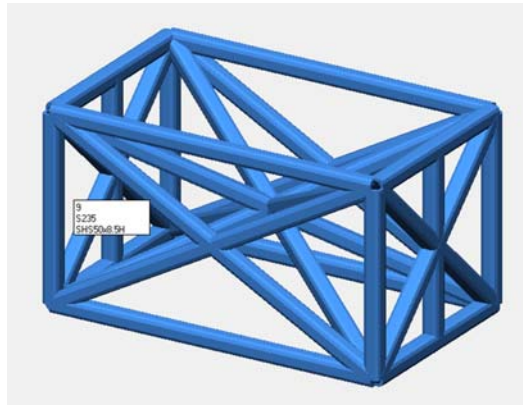


Figura 23 Exemplu de masută metalică

Dimensiunile unei masute metalice sunt 45x60-100 cm :

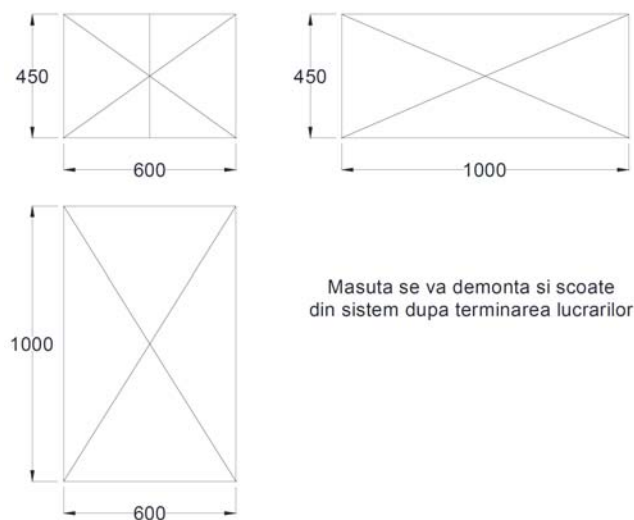


Figura 24 Dimensiuni masută metalică

15. După trecerea a șapte zile de la turnarea betonului, se vor tăia peretii și elementele din beton armat cu disc și filou diamantat, până la CPS. Succesiunea lucrărilor de tăiere a elementelor de beton armat continuă până în momentul în care a fost eliberată toată suprafața zidurilor de rezemarea pe fundație și obținerea suspendării întregii construcții pe masute.



Figura 25 Aparat cu disc diamantat de tăiat elemente de beton armat

#### **ETAPA V: Montarea reazemelor izolatoare seismice:**

1. Înainte de montarea izolatoarelor seismice se vor face verificări care să ateste că acestea corespund specificațiilor cerute de proiectant. Se vor face inspecții vizuale pentru a observa dacă există urme de uzură sau de degradări ce pot apărea în timpul transportului sau a manipulării.
2. Se va marca cu vopsea poziția și numărul pe fiecare izolator în parte cât și poziția în care acestea urmează să fie așezați. Se va verifica carcasa de filetaj ce a fost înglobată în beton.
3. Se vor monta izolatoarele pe rând, începând dintr-un colț al clădirii cu primul și din colțul opus cu al doilea și tot așa până ce vor fi prinși toți în poziție. Prinderea se face cu buloane, care au fost dimensionate astfel încât să reziste la forțele tăietoare ce vor apărea în timpul unei mișcări seismice.

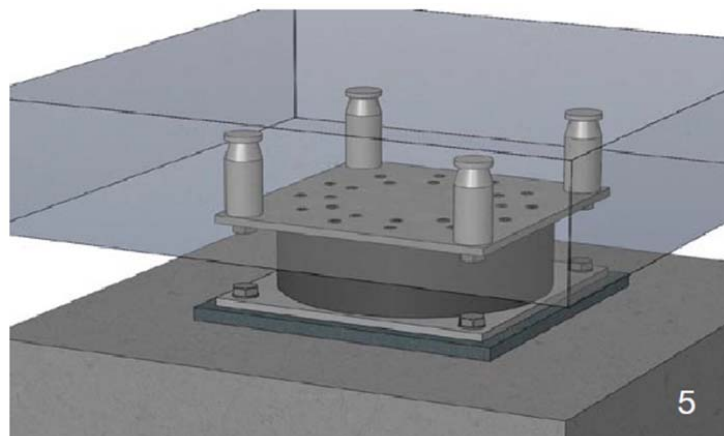


Figura 26 Izolator seismic în poziție finală

4. Dacă există spațiu între fața izolatorului și elementul de susținere, acesta se va umple cu mortar cu contractii împiedicate sau cu rasini epoxidice. Nu se necesită armarea spațiului existent dacă acesta nu are o deschidere mai mare de 15 mm. După uscarea mortarului, suruburile se vor pretensiona până la 50% pentru a împiedica apariția unor eventuale slabiri datorate deformațiilor elastice.



Figura 27 Mortar de subturnare folosit pentru sisteme de reazeme

5. După ce au fost puși toți izolatorii în poziții se va trece la îndepărtarea masivelor metalice pentru ca structura să se susțină integral pe izolatori. Îndepărtarea masivelor se va realiza în etape diferite. Este strict interzis ca două masive să fie înlăturate în același timp. Diferența de timp de îndepărtare a două masive alăturate trebuie să fie de minim 48 h. În acest sens se va deschide un registru în care vor fi consemnate pentru fiecare masivă în parte, data la care au fost efectuate operațiunile prevăzute precum și persoana care le-a executat. Îndepărtarea se va realiza în trei etape.

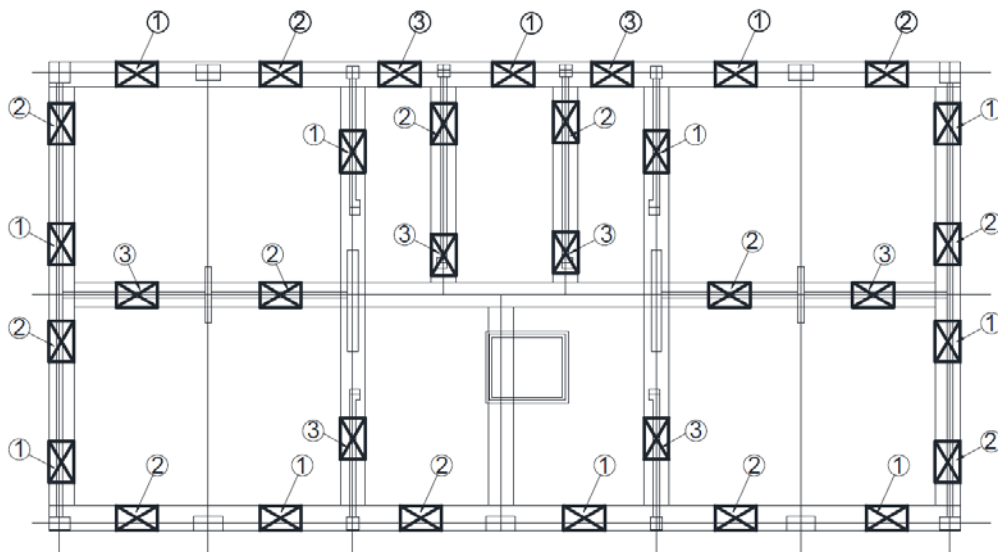


Figure 28 Etapele de îndepărtare a masivelor metalice



## Etapa VI: Executarea lucrarilor de finisaje

1. Inainte de inceperea lucrarilor de finisaje, se va curata zona de resturile ramase de la taierea zidurilor de stalpilor din beton armat si se vor transporta la locul de depozitare.
2. Se vor reface prin injectare eventualele degradari ce pot aparea in elemente din beton armat.
3. Se va reface scara de acces subsol. Pentru ca subsolul nu are rol de spatiu de depozitare, acesta nu va mai fi accesibil locatarilor, vizitarea acestuia facandu-se doar cu scopul de a remedia viitoare probleme ce pot aparea la instalatii sau izolatori.
4. Se vor monta racorduri mobile pentru instalatiile de apa calda, apa menajera, canalizare cat si instalatia de gaze. Pentru instalatia electrica se va lasa libera un o zona destul de mare pentru a asigura cerinta de deplasara fara ruperi ale cablurilor. Acestea sunt necesare pentru a evita degradarile ce pot aparea atunci cat survine o miscare seismica.

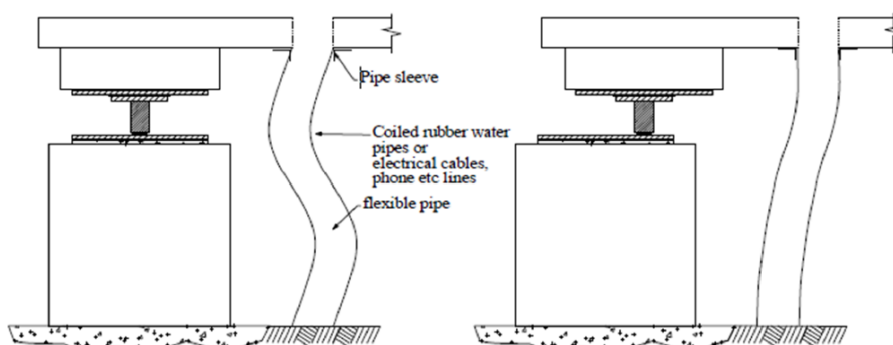


Figura 29 Racord mobil

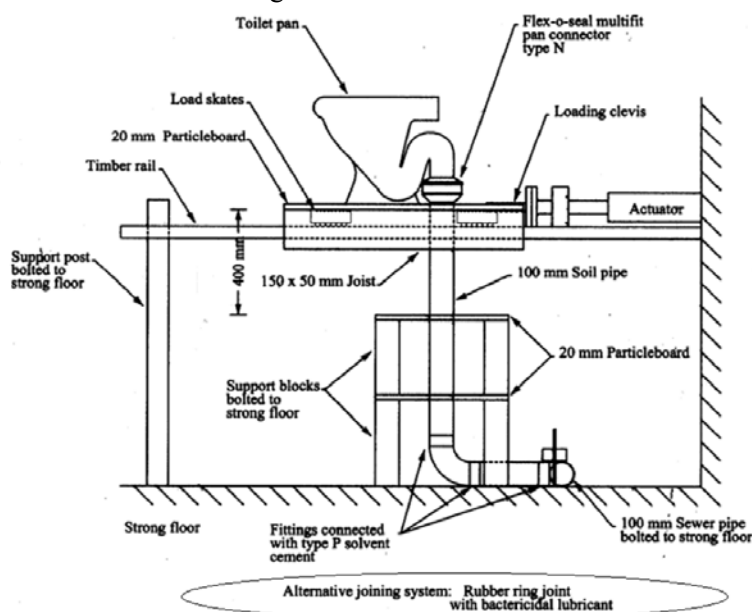


Figura 30 Racord mobil pentru canalizare

5. Se va monta capacul de metal ce va avea rolul de protecție a cuvei de beton. Acesta se va prinde articulat de structura și lăsat liber în celălalt capăt. Prinderea se va realiza cu balamale metalice. Înainte de prinderea elementului de peretei structurii se va da la o parte izolația termică existentă. Capacul se va realiza din bucăți late de maxim 1,00 m. La intersecția cu elementele vecine se vor monta bezi cauciucate acoperite cu tablă pentru a asigura etanșeitatea la apă. Capacul metalic va sprijini în capătul liber pe profilul metalic L100x100x6 care va avea sudate pe o latură praznuri pentru a asigura înglobarea în pereții de beton al cuvei, și pe cealaltă parte va avea dispusă o garnitură cauciucată pentru a asigura etanșeitatea legăturii. Balamaua metalică se va fi sudată de capac iar de peretele de beton armat de va prinde cu ancore mecanice.



Figura 31 Balamă metalică

6. Se va reface izolația termică și se va vopsi capacul metalic cu vopsea rezistentă la acțiuni mecanice și UV. Izolația termică se va pune pe elementele CPS și pe intradosul plăcii de la parter.

## 8. Evaluare economică a intervenției

Intervenția de izolare a bazei se va evalua economic pentru a determina dacă este viabilă soluția din punct de vedere financiar sau dacă se va folosi alta metodă de consolidare. Având în vedere faptul că această metodă este relativ recent introdusă în tehnologia de construcții din România, nu au fost realizate norme standard de deviz specifice, astfel lucrările vor trebui adaptate la norme de deviz corespunzătoare altor capitole:

- Indicator de norme de deviz construcții-C
- Indicator de norme de deviz terasamente-TS
- Indicator de norme de deviz reparații construcții-RPC
- Indicator de norme de deviz reparații instalații alimentare cu apă și canalizare-RPA
- Indicator de norme de deviz reparații instalații electrice în construcții-RPE

- Indicator de norme de deviz reparatii instalatii gaze-RPG

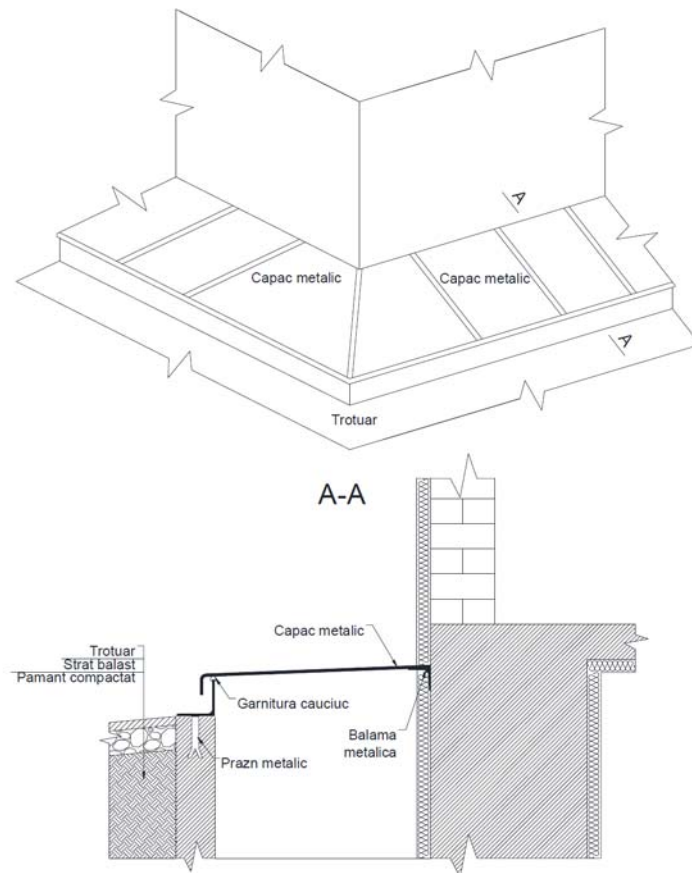


Figura 32 Schema instalare capac metalic

## Referințe

- [1] Stoica, D. Modelarea interactiunii teren-structura pentru cladiri – note de curs – UTCB 2013
- [2] Tsai, N.C. (1980). The Role of Radiation Damping in the Impedance Function Approach to Soil – Structure Interaction Analysis, Lawrence Livermore Laboratory, Livermore, California, UCRL-15232.
- [3] Veletsos, A. Younan, A.H. (1994). Dynamic Soil Pressure on Rigid Vertical Walls, Journal of Earthquake Engineering and Soil Dynamics, Vol. 23, Issue 3, pp.275 – 301.
- [4] Veletsos, A., Younan, A.H. (1994). Dynamic Modeling and Response of Soil–Wall Systems, Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 120, No.12, December, pp.2155-2179.
- [5] P100-1/2006 - Cod de Proiectare Seismica - Partea I - Prevederi de proiectare pentru cladiri, Bucuresti, 2006

- [6] Anil K. Chopra - Dynamics of Structures - Theory and Applications to Earthquake Engineering, New Jersey, 1995
- [7] Cristian Ghindea, Nicolai Topa - Studiu de Caz Asupra unor Structuri cu Baza Izolata, 2007
- [8] Ahmed Elgamal, Michael Fraser - Seismic Isolation & Energy Dissipation Systems, 2004
- [9] Trevor H. Kelly - Base Isolation of Structures, Design Guidelines, 2001
- [10] Satish Nagarajaiah, Andrei M. Reinhorn, Michalakis C. Constantinou - Nonlinear Dynamic Analysis of 3D Base-Isolated Systems, 1991
- [11] A.B.M. Saiful Islam, Mohammed Jameel, Mohd Zamin Jumaat - Seismic Isolation in Buildings to be a Practical Reality: Behavior of Structure and Installation Tehnique, 2011
- [12] Michael D. Symans - Seismic Protective Systems, Seismic Isolation
- [13] M. Ala Saadeghvaziri, Maria Q. Feng - Experimental and Analytical Study of Base-Isolation for Electric Power Equipment
- [14] Wang Yen-Po - Fundamentals of Seismic Base Isolation, Taiwan
- [15] Sajal Kanti Deb - Seismic Base Isolation - An overview, India, 2004
- [16] Farzad Naeim, James M. Kelly - Design of Seismic Isolated Structures, From Theory to Practic, 1999
- [17] Tunde Tokes - Studiu comparativ la clădirile cu pereți din beton armat folosind principiul izolării bazei în proiectarea seismică din România – 2013 – Disertatie
- [18] Andreea Toader - Studiu comparativ la clădirile cu cadre din beton armat folosind principiul izolării bazei în proiectarea seismică din România – 2013 – Disertatie
- [19] “Dinamic of structures” – R.W.Clough, J. Prezien (1993)
- [20] D. Cretu; E. Tulei; C. Ghindea; R. Cruciat - Eficienta dispozitivelor pasive de control la reabilitarea seismică a unei cladiri din Bucuresti
- [21] STUDIUL UNOR METODE DE ATENUARE A ACTIUNII SEISMICE ASUPRA CONSTRUCTIILOR - C. Ghindea – Teza de doctorat – UTCB 2008
- [22] P100-3:2008 Cod de evaluare și proiectare a lucrărilor de consolidare la clădiri existente, vulnerabile seismic
- [23] P100-1:2013 Prevederi de proiectare pentru clădiri
- [24] SR EN 1993-1-1 Eurocod 3: Proiectarea structurilor de oțel. Partea 1-1: Reguli generale și reguli pentru clădiri
- [25] ASCE. (2005). ASCE 7: Minimum design loads for buildings and other structures. American Society of Civil Engineers.
- [26] CR0-2005. (2005). Cod de proiectare. Bazele proiectării structurilor in construcți.
- [27] CSI. (fără an). ETABS Nonlinear V 9.7.4-User manual.
- [28] Elingwood, B., & Dusenberry, D. (2005). Building Design for abnormal loads and progressive collapse. Computer Aided Civil and Infrastructure Engineering.
- [29] EN 1990. Eurocode 0 - EN 1990: Basis of structural design. (2002).
- [30] Europe, S. S. (fără an). Design check of BRBF system according to Eurocode 8: Use of pushover analysis.